

Е.Н. Смирнова

**АБИОТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБИТАНИЯ СНЕТКА
В ПСКОВСКО-ЧУДСКОМ ВОДОЕМЕ, ВЛИЯЮЩИЕ
НА КОЛЕБАНИЯ ЗАПАСОВ ДВУХ ЕГО ПОПУЛЯЦИЙ**

E.N. Smirnova

**ABIOTIC HABITAT CONDITIONS OF LAKE SMELT
IN CHUDSKO-PSKOVSKIY RESERVOIR, INFLUENCING CHANGE
OF ITS TWO POPULATIONS' STOCK**

На основе анализа данных осенних ихтиологических съёмок в Чудско-Псковском водоеме и наблюдений на гидрологическом посту о. Залита установлена зависимость урожайности чудского снетка от температур воды предшествующего летнего периода. Рекомендовано статистически надёжное уравнение для определения запасов снетка в Чудском озере. Показано, что загрязнение южной части водоёма – Псковского озера – отрицательно влияет на выживаемость псковского снетка и нарушает связь его запасов с термическим фактором.

Ключевые слова: снеток, сеголетки, улов на усилие, урожайность снетка, сумма градусо-дней, регрессионные зависимости, цветение воды, заморные условия.

The analysis of data of autumn ichthyological surveys and the gauging station on the island of Zalita in Chudsko-Pskovskoye Lake was carried out. The dependence between the water temperature of the previous summer period and abundance of Chudskoye Lake smelt has been revealed. Statistically significant equation for estimating its stock is recommended. Pollution of the southern part of the reservoir has a negative impact on survivability of Pskovskoye Lake smelt and affects the relationship between its stock and thermal factor.

Key words: lake smelt, underyearlings, catch per unit effort, lake smelt abundance, sum of degree-days, regression dependence, water bloom.

Снеток (лат. *Osmerus eperlanus eperlanus m. Spirinchus Pallas*) – представитель короткоцикловых видов рыб, характерной особенностью которых является высокая чувствительность к внешним воздействиям, что приводит к существенным колебаниям его запасов в водоёме. Воздействия могут носить как биотический (пресс хищников, кормовая база и т.д.), так и абиотический характер (температура, уровень, химический состав воды).

Специалисты, занимающиеся изучением снетка Псковско-Чудского водоёма, выделяют две его разновидности (популяции) – снеток Псковского озера и снеток Чудского озера. Снеток Псковского озера живёт всего один год из-за быстрого достижения половозрелости и отличается от снетка Чудского озера того же возраста более крупными размерами. Популяция псковского снетка представлена, таким образом, всего одним поколением, что делает её ещё более уязвимой по отношению к внешним воздействиям. Тогда как популяция чудского снетка более устойчива, потому что в ней выявляются два, а иногда даже три поколения.

Ускоренные темпы роста снетка (как и других гидробионтов) в Псковском озере обусловлены более высоким уровнем трофии этой части водоёма, а значит – более богатыми пищевыми ресурсами для рыб [1].

Таблица 1

Диапазон колебаний (в числителе) и средние (в знаменателе) гидрохимические показатели вод Псковского и Чудского озёр в летний период 1989–1998 гг. (поверхностный горизонт)

Озеро	рН	БПК ₅ , мг/л	O ₂		NH ₄ ⁺ , мг/л
			мг/л	% нас.	
Псковское	<u>7,40-9,36</u>	<u>0,21-13,44</u>	<u>4,64-20,56</u>	<u>49-212</u>	<u>0,000-4,360</u>
	8,16	5,00	10,04	105	0,325
Чудское	<u>7,58-8,60</u>	<u>0,48-9,07</u>	<u>6,24-12,16</u>	<u>63-120</u>	<u>0,000-2,690</u>
	8,11	2,86	9,37	96	0,110

Более высокий уровень трофии Псковского озера связан, в частности, со сравнительно небольшими глубинами – до 5 м [9]. Это приводит к тому, что среднесезонная температура воды летних месяцев в Псковском озере (19,5 °С) на 1,5 °С выше, чем в Чудском, в котором преобладают глубины 10 м. В Псковском озере чаще наблюдается температура воды выше 20 °С, что, с одной стороны, способствует бурному развитию кормовой базы, однако, с другой – оказывает негативное воздействие на молодь рыб и снетка, как представителя оксифильного, холодолюбивого комплекса рыб. Более интенсивный прогрев воды в Псковском озере приводит к массовому развитию сине-зелёных водорослей, которые в процессе дыхания и разложения уменьшают количество растворённого кислорода, особенно в придонных горизонтах, выделяют токсины.

Вопросам взаимосвязи абиотических факторов среды с количественными показателями снетка в Псковско-Чудском водоёме уделяли внимание многие исследователи [10, 13, 15, 5, 2, 4].

Согласно исследованиям [11, 16], уровень пополнения снетка Псковско-Чудского озера, в отличие от корюшки восточной части Финского залива, не зависит от величины родительского стада, что позволяет увязывать его динамику с изменениями условий обитания.

С целью выяснения степени влияния термических и уровенных условий водоёма на запасы как псковского, так и чудского снетка был применён метод корреляционного анализа данных за 14 лет (1985–1988, 1990–1995, 1997–2000 гг.) [14].

Как известно, снеток большую часть жизни проводит в открытой части водоёма, поэтому для него наиболее значимыми являются условия водной среды пелагической части озёр: Псковского – для псковского снетка и Чудского – для чудского снетка, соответственно. Регулярные наблюдения за уровенным и термическим режимом Псковского озера ведутся на водомерном посту Росгидромета, расположенном на острове Залита в центральной части акватории. Тогда как в Чудском озере равноценные наблюдения невозможны из-за отсутствия центрально расположенных островов. Имеющийся на озере водомерный пост (д. Раскопель) расположен на восточном берегу озера и не может в полной мере характе-

ризовать пелагические условия. Поэтому определение степени влияния абиотических факторов на чудского снетка велось также с использованием наблюдений на острове Залита, что может быть оправдано тождественностью колебаний уровней и термических характеристик пелагиали этих двух частей водоёма.

Основу для расчётов коэффициентов корреляции между абиотическими факторами и количеством псковского и чудского снетка составили, таким образом, среднесуточные уровни и температуры воды, центральной части Псковского озера. На основании их значений были рассчитаны характеристики, участвующие в последующем поиске корреляционных связей. В частности, были найдены средние уровни за апрель – май и за год. Для характеристики термического режима водоёма предварительно вычислялись суммы градусо-дней (суммы среднесуточных температур) за разные периоды. В том числе – от даты устойчивого перехода температуры воды через 15 °С весной до даты устойчивого перехода температуры воды через 15 °С осенью (за весь летний период). Отдельно суммировались среднесуточные температуры от 15 до 20 °С (оптимальные для нагула снетка), а также – температуры воды выше 20 °С. В расчётах участвовала также средняя температура воды за апрель–май (периода нереста, инкубации икры и раннего постэмбрионального развития молоди), а также другие характеристики водной среды.

В качестве показателя запасов псковского и чудского снетка была принята попытка использования данных о вылове промысловыми организациями. Однако такой подход результатов не дал, что может быть объяснено слишком большим числом факторов, влияющих на промысел (наличие промысловой базы, погодные условия во время промысла и т.п.). Поэтому для поиска достоверных зависимостей были использованы результаты ежегодных ихтиологических съёмок на борту научно-исследовательского судна СРБ-11 Псковского отделения ГосНИОРХ.

Так как запасы формируются отдельными поколениями, то их состояние может быть охарактеризовано данными о ежегодном пополнении или количеством сеголеток, выживших в каждый конкретный год. В качестве показателя пополнения запасов (урожайности) были использованы средние уловы на усилие (одно поднятие научно-исследовательского трала) сеголеток снетка в осенний период. Поиск достоверных статистических зависимостей производился, таким образом, между результатами ежегодных осенних съёмок на борту научно-исследовательского судна под руководством Козлова В.А. с 1986 по 1993 г. и Тараканова В.В. с 1994 по 2001 г., с одной стороны, и данными гидрологического поста на о. Залита, предоставленными Псковским ГМЦ – с другой.

Были рассмотрены 22 показателя абиотических воздействий, которые априорно могли бы влиять на урожайность снетка в Чудском озере: 14 показателей термического и 8-уровневого режима.

Результаты расчётов показали, что довольно сильное влияние на урожайность *чудского снетка* оказывают температуры воды выше 20 °С и, как следо-

вало ожидать в случае с холодолюбивым видом, влияние это отрицательно ($r = -0,77 \pm 0,18$). Зависимость, соответственно, носит обратный характер (рис. 1).

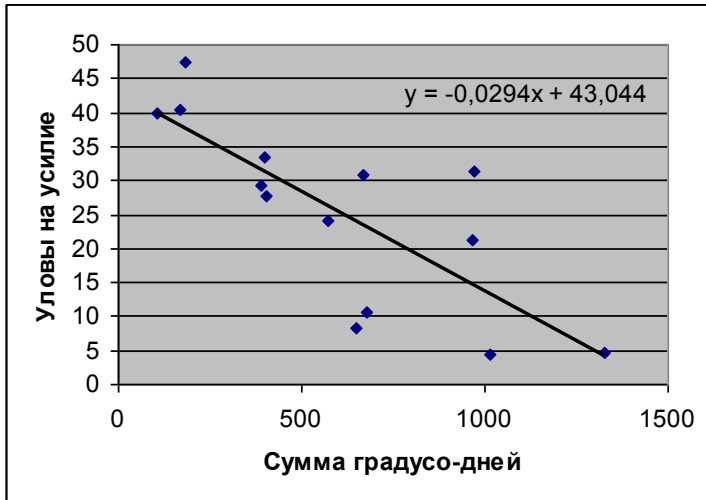


Рис. 1. Зависимость средних за съёмку осенних уловов на усилие сеголеток снетка от суммы градусо-дней с температурой воды выше 20 °С в летний период

Регрессионная зависимость имеет вид:

$$Y = -0,0294 X_1 + 43,044, \quad (1)$$

где Y – средний улов на усилие сеголеток снетка в осенний период, кг/(трал·ч); X_1 – сумма градусо-дней с температурой воды > 20 °С.

Ещё более значимым фактором, влияющим на биомассу сеголеток чудского снетка, как показали расчёты, является сумма градусо-дней оптимальных температур в период нагула ($t = 15-20$ °С). Именно в этом интервале температур молодь снетка, с одной стороны, обеспечена пищевыми ресурсами в виде зоопланктона, с другой – не испытывает угнетающего воздействия перегрева воды и сопутствующих ему негативных явлений. Коэффициент корреляции между урожайностью снетка и суммой градусо-дней в этом интервале температур воды составил $r = 0,84 \pm 0,15$. Было установлено, что данная зависимость носит прямолинейный характер (рис. 2).

Регрессионная зависимость имеет вид:

$$Y = 0,0394 X_2 - 22,539, \quad (2)$$

где Y – средний улов на усилие сеголеток снетка в осенний период, кг/(трал·ч); X_2 – сумма градусо-дней с температурой воды в диапазоне 15–20 °С.

Дисперсионный анализ подтвердил существенность влияния на урожайность снетка диапазонов температур 15–20 °С и > 20 °С. Это дало основание предложить общую для вышеуказанных факторов зависимость:

$$Y = 0,020 X_1 - 0,015 X_2 + 10,25, \quad (3)$$

где Y – средний улов на усилие сеголеток снетка в осенний период, кг/(трал·ч); X_1 – сумма градусо-дней в диапазоне температур 15–20 °С; X_2 – сумма градусо-дней с температурой > 20 °С.

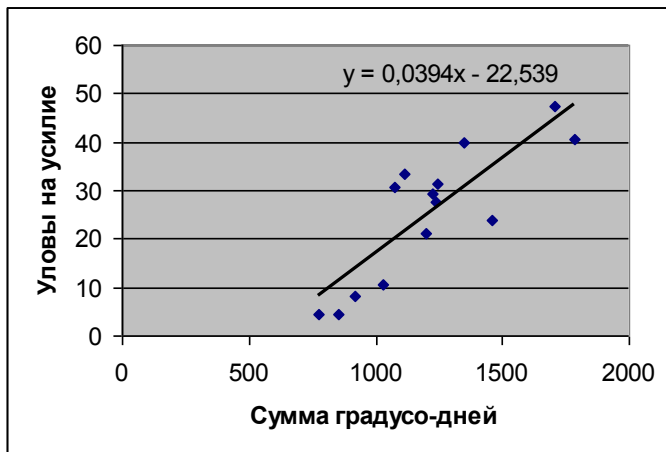


Рис. 2. Зависимость средних за съёмку осенних уловов на усилие сеголеток снетка от суммы градусо-дней с температурой воды 15–20 °С в летний период

Проверка корректности полученной формулы проведена путём сравнения эмпирических и вычисленных данных с помощью критериев Стьюдента и χ^2 (“хи-квадрат”) Пирсона. Результаты проверки позволяют утверждать, что вычисленные по приведённой формуле величины урожайности снетка достаточно хорошо согласуются с фактическими данными – результатами ихтиологических съёмок. Таким образом, можно сделать вывод, что полученное в результате статистического анализа данных уравнение (3) не только является статистически значимым, но достаточно объективно отражает существующие закономерности формирования урожайности снетка в Чудском озере и может быть рекомендовано к использованию при расчетах запасов этого вида рыб.

Для *псковского снетка* подобной зависимости выявить не удалось. Псковское озеро отличается от Чудского лучшим прогревом водной толщи, более высокой трофностью, а также наличием самого крупного притока Псковско-Чудского водоёма – р. Великой.

Анализ условий обитания в Псковском озере в период нагула снетка позволил связать снижение его численности в отдельные годы с ухудшением кислородного режима и высокой температурой воды. Такие условия наблюдались летом 1959 и 1972 гг., вызвав заморы псковского снетка [12, 3]. Резкое снижение запасов снетка отмечалось в указанные годы и в других водоёмах Северо-Запада России [8].

Однако резкое ухудшение условий обитания снетка в Псковском озере может быть вызвано не только усиленным прогревом воды, обусловленным срав-

нительно небольшими глубинами, но и поступлением в него загрязнённых вод р. Великой.

Так, в 1992 г в низовьях реки была зафиксирована высокая концентрация биогенных элементов. В черте г. Пскова наблюдалась вспышка «цветения». Вода в реке приобрела нехарактерный для неё, интенсивный зелёный цвет. Согласно многолетним данным [18], такое явление наблюдалось впервые, видовой состав водорослей был необычным. Значения многих важнейших гидрохимических показателей летом и осенью данного года оказались максимальными за период 1989–1999 гг. (табл. 2).

Таблица 2

Максимальные (в числителе) и средние (в знаменателе) значения гидрохимических показателей воды р. Великой в 1992 г (поверхностный горизонт)

Показатели	1992 г.		Среднепогоде (1989–1999 гг.)	
	Лето	Осень	Лето	Осень
pH	<u>8,58</u> 8,06	<u>8,23</u> 7,82	<u>8,58</u> 7,80	<u>8,23</u> 7,69
O ₂ , мг/л	<u>14,56</u> 10,91	<u>14,40</u> 12,52	<u>14,56</u> 8,72	<u>14,40</u> 9,85
O ₂ , % нас.	<u>159</u> 118	<u>146</u> 116	<u>159</u> 93	<u>146</u> 87
БПК ₅ , мгО/л	<u>13,12</u> 8,51	<u>12,08</u> 6,36	<u>13,12</u> 4,81	<u>12,08</u> 2,11
NO ₂ ⁻ , мг/л	<u>0,090</u> 0,032	<u>0,006</u> 0,005	<u>0,096</u> 0,018	<u>0,095</u> 0,018
NH ₄ ⁺ , мг/л	<u>0,374</u> 0,242	<u>0,626</u> 0,518	<u>1,116</u> 0,269	<u>0,626</u> 0,320
NO ₃ ⁻ , мг/л	<u>3,500</u> 1,177	<u>0,206</u> 0,103	<u>3,500</u> 0,557	<u>0,680</u> 0,284
P _{мин.} , мг/л	<u>0,038</u> 0,024	<u>0,056</u> 0,052	<u>0,038</u> 0,009	<u>0,060</u> 0,017

Высокие величины pH содержания растворённого кислорода в дневные часы в поверхностном слое воды свидетельствовали о бурном развитии фитопланктона, которое могло быть спровоцировано поступлением в воду большого количества органических веществ антропогенного происхождения. Это предположение подтвердилось превышением рыбохозяйственных предельно допустимых концентраций (см. табл. 2) по БПК₅ (ПДК = 2,00 мг/л), NO₂⁻ (ПДК = 0,020 мг/л), NH₄⁺ (ПДК = 0,39 мг/л), высокими величинами концентрации нитрат-ионов, минерального фосфора.

Распространение загрязнённых органическими веществами вод по акватории Псковского озера вызвало также и в нем вспышку «цветения» нехарактерными видами фитопланктона, продолжавшуюся до октября. Значение pH в осенний период оказалось даже выше летнего (табл. 3).

Наибольшие за открытый период величины БПК₅, NH₄⁺, обусловленные массовой деструкцией планктонных водорослей, наблюдались, как и в р. Великой, осенью, в условиях сравнительно низких температур, а не как обычно летом.

Таблица 3

Максимальные (в числителе) и средние (в знаменателе) значения некоторых гидрохимических показателей воды Псковского озера летом и осенью 1992 г (поверхностный горизонт)

Показатели	Лето	Осень
рН	<u>8,58</u>	<u>8,65</u>
	8,35	8,14
БПК ₅ , мгО/л	<u>6,54</u>	<u>9,84</u>
	4,37	4,49
NH ₄ ⁺ , мг/л	<u>0,542</u>	<u>1,240</u>
	0,148	0,359

По всей видимости, обострению ситуации в этот период способствовало не только наличие большой биомассы разлагающихся водорослей, но и отсутствие сколько-нибудь значительных осадков: уровень воды озера, начиная с мая, продолжал снижаться (табл. 4).

Таблица 4

Среднемесячные уровни воды Псковско-Чудского водоёма в 1992 г.
по данным водомерного поста на о. Залита

Название месяцев	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Значения уровней воды, см	272	251	217	187	168	160

Минерализация большого количества органических веществ, выделявшихся в водную толщу при массовом отмирании водорослей в летние и осенние месяцы, не могла не сопровождаться значительным расходом растворённого в воде кислорода, создавая заморные условия для молоди различных видов рыб и снетка, особенно в ночные часы. Это могло вызвать ухудшение физиологического состояния представителей популяции псковского снетка (снижение, в частности, их двигательной активности), превратив их в лёгкую добычу для хищников. Действительно, к осени было отмечено резкое уменьшение численности псковского снетка. Если весной 1992 г. в авандельте и в русле р. Великой были обнаружены значительные скопления половозрелого снетка, мигрирующего на нерест [6], то осенью того же года снеток в Псковском озере практически отсутствовал. Средний улов сеголеток снетка на усилии научно-исследовательским тралом осенью 1992 г. составил всего 0,35 кг/трал, тогда как в Чудском озере уловы на усилии были значительно выше – 128 кг/трал.

Таким образом, необычайно бурное развитие фитопланктона в Псковском озере и его крупнейшем притоке летом и осенью 1992 г. было связано с ухудшением ряда гидрохимических показателей, что, в свою очередь, по-видимому, способствовало резкому снижению запасов псковского снетка.

Можно предположить, что загрязняющие вещества р. Великой не только отрицательно влияют на выживаемость псковского снетка, но и способны нарушить зависимость его урожайности от термического фактора. В менее загрязнённом Чудском озере такая зависимость, статистически значимая, была установлена.

Для сохранения устойчивости биоценозов Псковско-Чудского водоёма представляется крайне необходимой модернизация системы мониторинга био-

генной нагрузки, особенно со стороны основного притока – р. Великой. Специалисты, занимающиеся данным вопросом, отмечают, что сетевые наблюдения редки и нерегулярны [17]. Кроме того, отсутствие достоверных данных о поступлении биогенных веществ от источников загрязнения на водосборе крайне затрудняет решение задачи по научно-обоснованному выбору путей снижения биогенной нагрузки, верификации и калибровки разрабатываемых расчетных методов и математических моделей, связывающих нагрузку от различных источников на водосбор с нагрузкой на водоем, а затем с показателями качества его вод и экологического состояния [7].

Литература

1. *Афанасьев Е.А., Антипова Л.Ф., Концевая Н.Я., Мельник М.М., Михайлов А.Е., Тарасова С.Г., Смирнова Е.Н., Ястремский В.В.* Современное состояние экосистемы Псковско-Чудского озера // Северо-Запад России: проблемы экологии и устойчивого развития. – Псков, 1997, с. 144–159.
2. *Бессонов Н.М., Смирнов Н.П., Дорожкина Т.Я.* Многолетние колебания климатических факторов и их влияние на вылов рыбы в Псковско-Чудском водоёме // Лимнология Северо-Запада СССР, ч. 1. – Таллин, 1973, с. 55–58.
3. *Дорожкина Т.Я.* Биология и состояние запасов снетка Псковско-Чудского озера // Науч. труды Псковск. отд. ГосНИОРХ, 1975, т. 1, с. 108–113.
4. *Дорожкина Т.Я.* Причины колебаний уловов псковского и чудского снетка // Науч. труды ГосНИОРХ, 1985, вып. 236, с. 98–109.
5. *Ефимова А.И.* Метод прогнозирования уловов снетка Псковско-Чудского водоёма // Изв. ГосНИОРХ, 1967, т. 62, с. 226–235.
6. *Козлов В.А.* Снеток // Раздел в отчёте «Разработать прогноз вылова рыбы в Псковско-Чудском озере и малых озёрах Псковской области». – Псков, 1993, с. 53–59.
7. *Кондратьев С.А., Мельник М.М., Шмакова М.В., Маркова Е.Г., Ульянова Т.Ю.* Метод расчёта внешней нагрузки на Чудско-Псковское озеро с Российской территории водосбора // Общество. Среда. Развитие (Тerra Humana). 2010, вып 1, с. 183–197. Интернет-ресурс. Режим доступа: http://www.terrahumana.ru/arhiv/10_01/10_01_32.pdf
8. *Кудерский Л.А., Фёдорова Г.В.* Снижение запасов снетка в больших водоёмах Северо-Запада Европейской части СССР в 1973–1975 гг. // Информ. бюлл. ГосНИОРХ, 1977, № 20, с. 3–8.
9. Чудско-Псковское озеро. Эстонское УГМС. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 162 с.
10. *Петров В.В.* Снеток Псковско-Чудского водоёма // Изв. ВНИОРХ, 1940, т. XXIII, с. 47–76.
11. *Попов А.Н.* Воспроизводство запасов корюшки восточной части Финского залива // Науч. труды ГосНИОРХ, 1979, вып. 141, с. 8–14.
12. *Семёнова Н.И.* Причины гибели снетка в Псковском озере в августе 1959 года // Научн.-техн. бюлл. ГосНИОРХ, 1960, № 10, с. 23–24.
13. *Сорокин С.М.* Биология снетка Псковского озер // Отчёт. Фонды ГосНИОРХ, 1951. – 27 с.
14. *Смирнова Е.Н., Михайлов А.Е.* Статистический анализ влияния абиотических факторов на урожайность снетка Чудского озера // Науч. тр. Пермск. отд. ГосНИОРХ, «Оценка запасов и проблемы регулирования рыболовства на внутренних водоёмах России», 2003, т. 5, с. 206–212.
15. *Тюрин П.В.* Влияние климатических условий на периодические колебания запасов промысловых рыб в озёрах Ладожском, Ильмень, Псковско-Чудском и Белом // Тр. ВНИРО, 1967, т. LXII, с. 268–310.
16. *Шаров А.Ф., Криксунов Е.А.* Результаты математического моделирования динамики популяций снетка и ряпушки Псковско-Чудского озера // Биологич. ресурсы водоёмов басс. Балт. моря. Мат-лы 22-й науч. конф. по изучению водоёмов Прибалтики). – Вильнюс, 1987, с. 214–215.
17. *Шелутко В.А., Смыжова Е.С.* Динамика стока биогенных веществ по реке Великая в Псковско-Чудское озеро // Уч. зап. РГГМУ, 2010, вып. 13, с. 89–104.
18. *Ястремский В.В.* «Цветение» воды в водоёмах Псковской области // Краеведение и охрана природы. – Псков, 1993, с. 86–88.